

# 防腐蚀工程技术问答

崔维汉 著

太原腐蚀与防护学会技术委员会  
太原科技进修学院防腐蚀工程分院

一九八六年三月

# 前 言

工业设备防腐蚀是一项重要的技术工作，开展这项工作不仅是生产本身的需要，同时也是开发新产品、新工艺和新技术的需要。因为不解决设备腐蚀问题，生产就无法进行。

金属的腐蚀使每年造成巨大的损失。每年有10%左右的钢铁因腐蚀而损失掉，每年因防止金属腐蚀要付出巨额防腐费用。因腐蚀造成的间接损失就更多了，如生产中断，设备事故，跑冒滴漏，其危害是十分严重的。据美国等国家统计，金属腐蚀造成的损失约占国民经济的3%左右。1982年美国损失为1200亿美元。我国近年曾对一些大型企业进行腐蚀损失调查，其中金属材料损失每年占10%左右，直接费用占总产值3%左右。按此推算，我国每年因腐蚀损失和防腐费用总额达到200亿元以上。开展防腐蚀工作，有效延长设备寿命，就直接增加了国民收入。例如，某轧钢厂酸洗槽过去寿命仅4~6个月，每年防腐蚀费用数十万元。经改进防腐措施后，寿命延长6倍以上，从过去4~6个月增加到3年。仅检修费节约了30余万元，每年多产不锈钢1000到2000吨，直接创造了财富。

腐蚀发生在国民经济各个部门，几乎凡使用金属材料的地方，都有腐蚀发生，都有防腐蚀工作可作。化工、冶金等部门，由于生产设备同各种强腐蚀介质接触，腐蚀尤其严重。必须采取行之有效的防腐措施，才能确保生产的连续与正常。

钢铁材料化学稳定性较差，在空气中就可锈蚀，在大多数化学介质中不稳定，但钢材是现代工业设备的结构材料，只有采用各种方法防护，减缓腐蚀发生。由于不可能有一种万能的防护方法和一种万能的防腐材料去解决腐蚀问题。为此，防腐蚀方法是多样的，所用防腐材料也根据腐蚀介质特征，从多种材料中选择。这样就使得防腐蚀材料多样化，既可用天然岩石解决腐蚀问题，也可使用合成材料、高级合金钢或有色金属。结合我国国情，应尽量选用非金属耐腐蚀材料代替金属和有色金属材料解决设备腐蚀问题，以便为我国四化建设积累更多的资金。本书就是着重非金属耐腐蚀材料性能、选择、施工以及设备设计、制作、检修等方面常遇的问题，以问答的方式供防腐蚀工作者参考。

1981年山西人民出版社曾出版作者的“工程材料与设备防腐蚀技术问答”，本书在此基础上全面修订并增添有关内容，共计解答问题168个，作为太原腐蚀与防护学会受中国科协委托举办的“全国防腐蚀技术函授”的辅导内容。本书编著时间仓促，不足之处望读者指正。

作 者

1986年3月于太原



## 内 容 提 要

本书是作者从事防腐蚀科技工作以来，针对实践中工业设备防腐蚀中的常遇到的疑难问题，如设备设计，防腐蚀施工，非金属设备制造与检修等方面问题进行分类解答。本书以非金属耐腐蚀设备与材料为主，适合设计部门、厂矿企业、大专院校有关工程技术人员、施工人员和师生参考。

本书的编排与校对工作由张建成、王 娟、韩采萍、李建龙等同志负责完成。

1986

# 目 录

## 一.防 腐 蚀 基 础

1. 什么叫金属腐蚀? ..... ( 1 )
2. 你如何理解腐蚀的定义? ..... ( 1 )
3. 金属表面膜的成长有哪些规律? 怎样判断膜的完整性? ..... ( 1 )
4. 以下腐蚀现象哪些是化学腐蚀? 哪些是电化学腐蚀? ..... ( 2 )
5. 简述孔蚀的作用原理? 写出钢在硫酸中和含水煤气钢管腐蚀的过程反应式? ..... ( 2 )
6. 金属在酸、碱、盐溶液中发生的电化腐蚀有何特征? ..... ( 3 )
7. 工业大气对钢铁腐蚀有何特征? ..... ( 4 )
8. 工业设备防腐蚀的重要性是什么? ..... ( 4 )
9. 常用的防腐蚀方法有哪几种? ..... ( 4 )
10. 阴极保护原理是什么? ..... ( 6 )
11. 什么叫阳极保护? ..... ( 6 )
12. 什么是电化腐蚀动力过程? 在实际生产中有何意义? ..... ( 7 )
13. 在计算金属结构的化工机械设备时, 如何考虑腐蚀裕量? ..... ( 9 )
14. 在低合金钢中, 碳、铜、硼、铬、镍等元素加入后腐蚀性能有哪些提高? ..... ( 9 )
15. 按金相组织不锈钢可分为哪几大类? ..... ( 10 )
16. 比较  $1G_{18}Ni_{18}$  和  $1G_{18}Ni_{10}Ti$  两种不锈钢的耐腐蚀性? ..... ( 10 )
17. 奥氏体不锈钢中加入钛、铌元素后可起什么作用? ..... ( 10 )
18. 奥氏体不锈钢设备为什么不得任意割焊? ..... ( 10 )
19. 铸铁肿胀的原因是什么? 如何防止? ..... ( 11 )
20. 简述奥氏体不锈钢发生晶间腐蚀的原因? ..... ( 11 )
21. 常用的非金属耐腐蚀材料有哪些? ..... ( 11 )
22. 各种非金属材料耐腐蚀性能有何区别? ..... ( 12 )
23. 聚三氟氯乙烯耐腐蚀性能与聚四氟氯乙烯比较有哪些区别? ..... ( 14 )
24. 硬聚氯乙烯与软聚氯乙烯耐腐蚀性能有何区别? ..... ( 14 )
25. 水玻璃胶泥在哪些介质中不稳定? ..... ( 14 )
26. 用各种树脂成型的玻璃钢耐腐蚀性能有何区别? ..... ( 15 )
27. 用合成树脂配制的胶泥与用来成型的玻璃钢耐腐蚀性能是否相同? ..... ( 17 )
28. 石棉酚醛塑料是否耐乙醇的腐蚀? ..... ( 18 )

29. 常用的非金属防腐蚀设备有哪些? ..... (18)
30. 非金属保护层防腐蚀施工有哪些特点? ..... (19)
31. 对非金属材料进行腐蚀试验时应注意哪些问题才能使  
评定结果准确? ..... (21)
32. 非金属耐腐蚀管道有哪些特点? 安装时应注意哪些问题? ..... (22)
33. 非金属管道安装时, 热补偿装置如何确定? ..... (22)
34. 如何选择工业设备的防腐蚀方法? ..... (23)
35. 如何保证非金属防腐蚀设备的正常使用? ..... (24)
36. 值得重视和推广的防腐蚀新工艺有哪些? ..... (25)
37. 在酸碱交替介质中怎样选择耐腐蚀材料? ..... (26)
38. 电解食盐车间湿氯气间接冷却工艺中, 冷却器有几种?  
选择哪种材质较好? ..... (27)
39. 搪瓷设备局部损坏后怎么办? ..... (28)
40. 钢试样可以在浓硝酸中钝化; 而且钢制容器可存放含有硫酸的浓  
硝酸, 但不能存放浓硝酸, 为什么? ..... (28)
41. 一台液氯贮罐检修时误将水送入, 为何水线部位遭受严重腐蚀? 如  
何避免? ..... (29)
42. 氯乙烯转化器腐蚀损坏的原因是什么? 怎样防腐蚀? ..... (30)
43. 某合成氨厂中压煤气管道发生爆炸, 原因是什么? ..... (31)
44. 如何防止冷却水对钢设备的腐蚀与结垢? ..... (31)
45. 如何避免工业锅炉的腐蚀? ..... (32)
46. 现场检修的设备, 局部锈蚀如何消除? ..... (32)
47. 油罐防腐蚀采用哪种方法效果较好? ..... (33)
48. 输送及接触湿氯气的管道, 可使用哪些材质制作? ..... (33)
49. 采用涂料保护设备时应注意哪些问题? ..... (34)
50. 涂有过氯乙烯清漆的钢制精盐水罐, 为什么涂层很快脱落? 怎样正  
确施工? ..... (35)
51. 现场安装塑料等非金属管道时, 为什么要用安装温度来考虑管道  
的伸缩性问题? ..... (35)
52. 高分子化合物是怎样命名与分类的? 高分子化合物与低分子化合  
物相比主要区别何在? ..... (36)
53. 聚烯烃高分子化合物在防腐蚀工程中常用的有哪些? 分子  
结构如何? ..... (37)
54. 简述酚醛树脂的固化特征? ..... (37)
55. 简单描述高分子化合物分子链结构层次? ..... (37)
56. 高分子链节构型有几种? 在防腐蚀工程中常用哪种构型  
的聚丙烯? ..... (38)

57. 高分子链交联结构对物性有何影响? ..... (38)
58. 高分子链的柔顺性由哪些因素决定? ..... (38)
59. 简单描述高分子结晶链的构象? ..... (39)
60. 高分子结晶度与其分子链化学结构有何关系? 无定形与结晶高聚物物理状态如何? ..... (39)

## 二. 合成树脂与胶粘剂

1. 防腐蚀工程中常用哪几种胶粘剂? 如何分类? 合成树脂胶粘剂有哪些特点? ..... (40)
2. 酚醛树脂在防腐工程中的主要用途是什么? ..... (40)
3. 为什么推荐碳酸钠催化剂酚醛树脂作胶粘剂? 它与氢氧化钠常温催化酚醛树脂相比有何优点? ..... (42)
4. 环氧树脂有哪些品种? 用途如何? ..... (43)
5. 环氧树脂硬化剂加入量如何计算? 配制时应注意哪些问题? ..... (44)
6. 环氧树脂常用的稀释剂有哪些品种? ..... (45)
7. 什么叫不饱和聚酯树脂? 有哪些品种? ..... (46)
8. 不饱和聚酯树脂的促进剂和固化剂目前有几种? 施工应注意哪些问题? ..... (47)
9. 呋喃树脂有哪些品种? 主要用途有哪些? ..... (50)
10. 用酸性固化剂配制合成树脂胶泥时, 为什么不允许填料中含有碳酸盐? ..... (50)
11. 用热固性树脂加固化剂配制胶粘剂时, 为什么每次配制量有一定限制? ..... (51)
12. 砖板衬里用的胶粘剂有哪些品种? 配制原则如何? ..... (52)
13. 为什么防腐蚀涂料常用601\*环氧树脂制备, 而胶粘剂用6101\*环氧树脂制备? ..... (53)
14. 硫酸乙酯可作哪些树脂的固化剂? 如何配制? ..... (53)
15. 酚醛树脂胶液能用硫酸乙酯作固化剂吗? ..... (54)
16. 配制不同用途的胶粘剂时, 怎样选择填料? ..... (54)
17. 防腐蚀工程中改性合成树脂如何命名? 固化剂怎样选用? ..... (55)
18. 什么叫水玻璃的模数? ..... (55)
19. 低模数的水玻璃怎样用硅胶调整至合格? ..... (56)
20. 如何把高模数水玻璃用氢氧化钠调成合格的模数? ..... (56)
21. 水玻璃胶泥硬化后, 养护期以多长为好? ..... (57)
22. 水玻璃胶泥中硬化剂的加入量如何计算? ..... (57)
23. 水玻璃胶泥硬化过程如何? 为什么要在硬化后进行酸化处理? ..... (58)

24. 用水玻璃胶泥衬砌的酸贮罐，胶泥硬化后还用不用酸化处理？……… (58)
25. 配制呋喃树脂胶泥时，用硫酸乙酯作固化剂产生爆聚现象或胶接缝不固化现象，是什么原因？如何操作？……… (59)
26. 如何选择固化剂使环氧树脂在水中固化和低温下固化？……… (59)
27. 现场如何制备苯酚、间苯二酚甲醛快干树脂？……… (59)
28. 各种塑料常用的溶剂型胶粘剂有哪些？……… (60)
29. 各种金属材料和非金属材料互相粘结时，选用哪几种胶粘剂？……… (60)
30. 配制硫酸乙酯固化剂一定要用无水乙醇和试剂硫酸不可吗？……… (60)
31. 如何确定高分子化合物的溶解特性？……… (61)
32. 四氢呋喃、乙醇、丙酮可溶解那些高分子化合物？……… (63)
33. 为什么不同的树脂和橡胶需用不同的溶剂溶解？而聚四氟乙烯很难找到合适的溶剂？……… (63)

### 三. 高分子材料在防腐蚀工程中的应用

1. 含氟塑料有哪些品种？聚四氟乙烯有哪些优越性能？……… (65)
2. 聚氯乙烯塑料在医药、食品工业中能否应用？应注意哪些问题？……… (66)
3. 硬聚氯乙烯焊接时，焊条为什么要与焊接面呈 $90^\circ$ 角？……… (66)
4. 设计成型硬聚氯乙烯设备时，应注意材料的哪些性能？……… (67)
5. 直径较大的硬聚氯乙烯圆筒设备怎样成型？……… (67)
6. 椭球封头为什么推荐用瓜皮法制作？它和整体压制法比较有哪些优点？……… (68)
7. 用阴阳模整体压制塑料椭球封头时，如何展开下料？……… (70)
8. 如何提高硬聚氯乙烯塑料使用温度？……… (71)
9. 直径较大的硬聚氯乙烯管道，热补偿装置如何设计？……… (71)
10. 硬聚氯乙烯塑料焊接速度如何确定？……… (72)
11. 硬聚氯乙烯板材对接焊时，焊接角度如何确定？……… (72)
12. 硬聚氯乙烯管道使用压力如何确定？……… (73)
13. 硬聚氯乙烯设备能否在受压情况下使用？怎样计算连续安全使用压力？……… (74)
14. 直径较大设备的法兰密封结构如何设计？……… (76)
15. 输送盐酸的硬聚氯乙烯管道，冬季使用发现法兰连接处漏料，是胶粘剂不耐腐蚀吗？……… (76)
16. 电解食盐水生产系统盐水管改用硬聚氯乙烯管后，为什么法兰连接处经常泄漏？……… (77)
17. 聚丙烯管道在安装与使用过程中应注意哪些问题？……… (78)
18. 用聚丙烯板衬里的钢制贮罐，内装 $100^\circ\text{C}$ 的稀硫酸时，短期

- 焊缝就开裂,为什么? ..... (78)
- 19.硬聚氯乙烯板材对焊时,焊接角度如何选择? ..... (79)

## 四.玻璃 钢

- 1.什么叫玻璃钢? ..... (80)
- 2.玻璃钢比强度高于金属及合金,什么叫比强度? ..... (80)
- 3.玻璃钢在工业设备防腐蚀方面有哪些用途? ..... (80)
- 4.玻璃钢也是脆性材料吗? ..... (82)
- 5.玻璃纤维制品的品种与规格有哪些? ..... (82)
- 6.什么叫单丝、厚丝、支纱、捻度? ..... (86)
- 7.玻璃钢衬里方法如何选择? ..... (84)
- 8.为什么钢和混凝土设备衬玻璃钢时,底层要用环氧树脂胶液? ..... (84)
- 9.玻璃钢衬里的厚度怎样确定? ..... (84)
- 10.为什么推荐使用中碱玻璃纤维成型玻璃钢耐酸设备? ..... (85)
- 11.常用玻璃钢有哪几个品种?性能如何? ..... (85)
- 12.湿法成型玻璃钢设备的方法有何优点? ..... (86)
- 13.玻璃钢衬里施工方法有几种?如何选择? ..... (86)
- 14.配制环氧、酚醛树脂胶液时,如何使粘度符合施工要求? ..... (86)
- 15.手糊法玻璃钢施工保证质量的关键之一是防止胶液流淌,如何防止? ..... (87)
- 16.湿法成型玻璃钢制品配制胶液时,为什么必须做到配比准确? ..... (88)
- 17.干法压制成型玻璃钢制品时,干片制作过程应分析控制哪些项目? ..... (88)
- 18.酚醛玻璃钢整体成型设备渗透性较大,如何采用复合结构增加密实度? ..... (89)
- 19.天圆地方料用玻璃钢成型时可以用不用模具吗? ..... (89)
- 20.如何利用较简单的模具成型玻璃钢异经管? ..... (90)
- 21.如何利用较短的模具成型较长的玻璃钢圆筒设备? ..... (90)
- 22.如何防止玻璃钢设备管道产生静电问题? ..... (91)
- 23.环氧玻璃钢管道壁厚如何确定? ..... (91)
- 24.安装玻璃钢管道时,是否需要设置热补偿装置? ..... (92)
- 25.玻璃钢管与法兰能否采用丝扣连接? ..... (92)
- 26.如何控制玻璃钢的含胶量? ..... (93)
- 27.苯酚生产中,亚硫酸钠贮槽衬贴玻璃钢防腐蚀,使用后严重脱落是什么原因? ..... (93)



## 五.不透性石墨

1. 非金属冷却器有哪些种类? ..... (94)
2. 石墨材料浸渍时, 为什么第一遍浸渍最重要? 如何保证石墨浸渍的质量? ..... (95)
3. 为什么使用混合物浸渍石墨其效果不好? ..... (96)
4. 酚醛石墨浮头式列管冷却器能用在固体悬浮物较多的介质中吗? ..... (97)
5. 浮头列管式石墨热交换器管子在管板上如何排列? 换热面积怎样计算? ..... (98)
6. 酚醛石墨压型管为什么要进行高温处理? 为什么最终温度不能超过300℃
7. 浮头列管式热交换器损坏后如何检修? ..... (99)
8. 如何用较小的石墨材料制作块孔式热交换器? ..... (101)
9. 块孔式石墨热交换器的孔深最大加工尺寸可达多少? ..... (101)
10. 块孔式石墨热交换器盖板密封用什么垫效果较好? ..... (101)
11. 如何改进块孔式冷却器结构? 提高传热效率? ..... (102)
12. 如何保证块孔式石墨冷却器应有的热交换效果? ..... (102)
13. 硬聚氯乙烯石墨塑料中, 石墨含量以多少为宜? ..... (103)
14. 制作硬聚氯乙烯塑料冷却器时, 管子在管板焊接端部有时出现变形或轴向裂隙? 为什么? 如何避免? ..... (104)
15. 硬聚氯乙烯石墨塑料冷却器能否代替玻璃—塑料列管冷却器? ..... (104)
16. 自行车设计硬聚氯乙烯石墨塑料冷却器时, 哪些参数是关键的设备如何在现场安装固定? ..... (105)

## 六.橡胶及砖板衬里

1. 在什么条件下选用橡胶衬里设备? ..... (106)
2. 目前各种衬里胶板有哪些牌号? 如何选择? ..... (106)
3. 硬橡胶、半硬橡胶、软橡胶有什么区别? 怎样选用? ..... (106)
4. 盐酸槽车及槽罐衬橡胶防护, 为什么面层不能使用软胶板? ..... (108)
5. 过期胶板能否使用? 如何处理? ..... (108)
6. 单面焊接的管件能否贴衬橡胶? ..... (109)
7. 用热烙法衬胶, 烙铁温度控制在150~180℃时对衬里质量有无影响? ..... (109)
8. 如何选择贴衬胶板的方法? ..... (110)
9. 衬胶过程中为什么会 appear 起泡事故? 如何避免? ..... (111)
10. 为什么必须重视衬胶硫化前的质量检查? 如何检查? ..... (112)

11. 一台衬有两层半硬橡胶的盐酸槽车自身硫化后底部多处起泡,上部基本良好,为什么? ..... (112)
12. 单面焊接的设备是否进行橡胶衬里? ..... (113)
13. 如何保证密闭容器衬橡胶的安全施工? ..... (113)
14. 用合成树脂衬砌砖板或玻璃钢的钢设备,在什么场合干需进行热处理?怎样进行热处理? ..... (114)
15. 砖板衬里防腐蚀设备为什么应用范围广泛? ..... (116)
16. 耐腐蚀砖板材料有那几种?主要性能如何? ..... (117)
17. 铸石为什么具有耐磨、耐腐蚀的特性? ..... (117)
18. 砖板衬里设备使用过程中,可能有哪些缺陷?如何解决? ..... (117)
19. 砖板衬里施工过程中常出现哪些缺陷?如何解决? ..... (118)
20. 受压设备能否用耐腐蚀砖板衬里防护?如何保证施工质量? ..... (119)
21. 用酚醛胶泥在钢设备表面衬砖板材料时,选用哪种底漆施工最方便?且能保证质量? ..... (120)
22. 蒽磺化反应器采用呋喃改性环氧胶泥衬瓷板,为什么使用寿命短?碱管与搅拌为石棉酚醛塑料管,使用寿命也很短,为什么? ..... (120)

# 一、防 腐 蚀 基 础

## 1. 什么叫金属腐蚀？

金属由于外部介质的化学作用或电化作用而引起的破坏，叫做腐蚀。最常见的是钢铁的锈蚀。钢铁表面生锈，这是金属同空气中的水分起了化学变化的结果。所谓铁锈，就是铁表面同水分起化学反应最后变成了氧化铁。钢铁在空气中生锈这一过程也叫大气腐蚀。一般在较干燥的地区，碳钢每年腐蚀深度为0.01毫米以下。在沿海地区，由于空气潮湿，腐蚀速度就更高了。在工业区，特别是石油、化工企业周围大气中由于各种酸性气体逸出（像烧煤烟筒中有大量二氧化硫逸出），金属锈蚀也就更严重些，如太原化工区，碳钢腐蚀速度为0.1到0.2毫米/年左右。

如果金属接触化学介质，特别是接触各种酸（硫酸、盐酸、硝酸、磷酸等）和酸性介质时，腐蚀就更严重了，把铁屑放在酸里，就可看到有大量氢气发生，不一会，铁屑就溶解了。像5毫米厚的钢板在30%的盐酸中，数十小时就腐蚀掉了，这是因为铁同盐酸极易发生化学变化，生成了氯化亚铁。钢铁在小于70%的硫酸中，常温下就变成硫酸亚铁，并放出氢气。所以这些酸都不能直接接触钢铁设备，也不能用钢铁设备贮存。

## 2. 你如何理解腐蚀的定义？

金属腐蚀的基本定义已指明，有化学腐蚀和电化学腐蚀两类不同的腐蚀过程。化学腐蚀和电化学腐蚀都是化学变化的结果，但腐蚀机理有重大区别，有人以为金属腐蚀是化学变化，一律称化学腐蚀，这是很错误的。我们也可把金属腐蚀看作是冶金的逆过程，在自然界中除贵金属等呈游离态存在，大部分金属呈化合态存在，这表明在化合态时最稳定。如果将稳定的化合态转变为游离态（也即冶炼过程），则需要外界提供能量，冶炼的金属特别是像钢铁，易于回复到化合态，也即同周围介质作用（如在空气中锈蚀）放出能量，回复为矿石成份。实质上是冶炼的逆过程。

我们从不同角度出發，对腐蚀过程可有更深入的理解。

## 3. 金属表面膜的成长有哪些规律？怎样判断膜的完整性？

金属表面膜是金属与介质作用后的化学腐蚀产物，膜的成长同介质扩散速度、膜的紧密程度、体积大小以及同反应速度等因素有关。当金属同介质作用生的膜是疏松的，介质通过膜时的扩散阻力很小，如果介质浓度与温度不变时，膜的增长速度受化学反应速度控制。此时膜的增长速度随时间成正比增加，所得曲线为直线。如果金属化学腐蚀时与介质生成连续的膜，对介质扩散起阻碍作用，随着膜的加厚，膜的生成速度变得缓慢，膜的成长与时间为抛物线关系。还有一些金属生成膜的厚度与时间为对数曲线关系，其

膜增长比抛物线关系更慢。

不同的金属在相同介质中成膜规律是不相同的，同一金属在不同的介质中或在不同温度下成膜规律也不相同。因此要通过试验来找出其曲线形状。

金属表面生成完整膜的条件是生成膜的体积要大于金属表面的体积，且连续无孔，金属表面才能被膜复盖，起到保护作用。如用公式表明，有如下形式：

$$\frac{V_{\text{氧化膜}}}{V_{\text{金属}}} > 1, \quad \frac{Mb}{NDA} > 1, \quad (\text{生成完整膜的条件})$$

式中 M—氧化物的克分子量；N—氧化物的原子数；D—金属的比重；

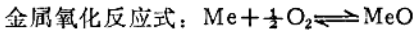
$V_{\text{氧化物}}$ —含金属1克原子的氧化物的体积。

$V_{\text{金属}}$ —1克原子金属的体积。

周期表中 I、II 族碱金属和碱土金属生成膜无保护性，Al、Pb、Sn、Ti、Cr 等可生成完整膜。

金属在高温下氧化的条件如下：

如果氧的分压（0.21大气压）大于氧化物的分解压力，反应向生成氧化物的方向移动，如果氧的分压小于氧化物的分解压力，则金属不被氧化，反应式表示如下：



Me—某种金属

高温下金属被氧化（反应向右进行）：氧的分压大于氧化物的分解压力

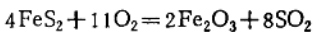
金属不氧化的条件：氧的分压小于氧化物的分解压力

例如银在绝对温度300°K时被氧化，当温度升到400°K，银化银分解压力就大于氧的分压，银不被氧化。

#### 4. 以下腐蚀现象哪些是化学腐蚀？哪些是电化学腐蚀？

- (1) 钢铁在大气中腐蚀——电化学腐蚀；
- (2) 输油管受地下土壤腐蚀——电化学腐蚀；
- (3) 钢铁在海水中腐蚀——电化学腐蚀；
- (4) 轧钢过程钢铁表面氧化——化学腐蚀；
- (5) 铜在液氨中腐蚀——化学腐蚀；
- (6) 钢在盐酸中腐蚀——电化学腐蚀；
- (7) 铝在碱液中腐蚀——电化学腐蚀；
- (8) 铝冷却器同钢架接触在碳酸氢铵溶液中——电化学腐蚀（电偶腐蚀）
- (9) 奥氏体不锈钢在氯化钠溶液中的腐蚀——电化学腐蚀；
- (10) 硫铁矿燃烧在800℃生成二氧化硫对钢或铸铁腐蚀——化学腐蚀。

〔注〕硫铁矿燃烧化学反应式为：



#### 5. 简述孔蚀的作用原理；写出钢在硫酸中和含水煤气钢管中腐蚀的过程反应式。

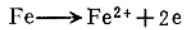
孔蚀可视作缝隙腐蚀的一种特殊形式，由于腐蚀过程产生自催化作用，腐蚀速度极

大、例如地下管道可发生氯离子作用下的孔蚀，在孔周围，金属表面氧原子放电而形成阴极区，在孔内，金属溶解呈离子进入溶液中遭受腐蚀，由于孔内金属离子过剩，而使氯离子向孔内移动，生成氯化亚铁，水解后而产生氢离子，使腐蚀速度自动加快， $\text{MeCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ \text{Cl}^- + \text{MeOH}$ （起始反应，氧的去极化  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$ ）

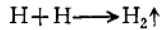
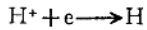
写出以下电化学腐蚀过程中阴极和阳极的反应方程式

(1) 钢在硫酸溶液中的腐蚀过程。

阳极区：铁原子呈离子溶解，放出电子：

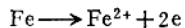


阴极区：硫酸电离产生氢离子，拿掉过剩的电子。

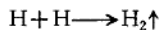
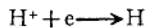


(2) 含水的煤气管道腐蚀过程：（分析：煤气中含有少量二氧化碳的硫化氢，可在水中电离生成氢离子）。

阳极区：钢表面铁原子呈离子进入溶液中（水膜中）放出电子。



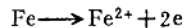
阴极区：氢离子拿掉过剩电子而生成氢原子。



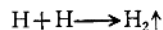
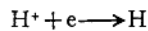
（提示：本题中两个腐蚀过程反应式是相同的）

## 6. 金属在酸碱盐溶液中发生的电化腐蚀有何特征？

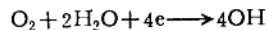
答：酸、碱、盐溶液都是电解质溶液，金属在这些溶液中发生的腐蚀是电化腐蚀。金属在酸碱盐溶液发生腐蚀时，阳极过程是金属呈离子进入溶液中，例如铁腐蚀时，阳极过程如下：



阴极过程则不相同，金属在酸中腐蚀阴极过程是氢离子的还原，也即氢的去极化：



如果阴极电位也即氢电极电位比氢的平衡电位为正，则反应受到阻碍。反之，当阴极电位比氢的平衡电位为负时，则腐蚀可进行下去。当阴极过程存在氢的超电压，腐蚀则受到阻碍。为此，金属在酸中的腐蚀，当阳极过程不受阻碍时，腐蚀速度主要决定于氢的去极化过程。金属在碱中的腐蚀，阴极过程是氧的还原。反应式如下：



金属在中性盐和碱式盐中腐蚀过程，阴极反应皆为氧的去极化反应，在酸式盐中则是氢的去极化过程。

## 7. 工业大气对钢铁腐蚀有何特征？

答：工业大气对钢铁的腐蚀（锈蚀）是电化学腐蚀过程，但在干燥的大气中钢铁腐蚀非常缓慢，这是由于金属表面不能形成连续的水膜，腐蚀实质为化学腐蚀过程，（铁同氧进行反应）钢表面逐步为氧化产物复盖，当达到一定厚度时，腐蚀终止。

在相对湿度低于100%的大气中，钢表面吸附一层水分子，形成水膜（厚度不到1微米），空气中的氧可进入水膜，进行去极化反应，形成电化学腐蚀，由于腐蚀产物离开阳极区一段而形成，所得氧化铁为疏松的不完整膜，从而无保护作用，所以腐蚀过程一直进行下去。当空气中含有二氧化硫、氯化氢、硫化氢、二氧化碳等酸性介质时，腐蚀速度显著增加，从而工业大气中金属腐蚀速度比纯净大气中可高数十倍以至百倍。此外，随温度增加腐蚀加快。六十年代曾在太原化工区测定工业大气对普通碳钢的腐蚀速度，夏季高到0.2毫米/年。

当相对湿度接近100%，钢铁表面水膜厚度增加，开始氧的去极化反应速度很快，腐蚀强烈，但当水膜厚度继续增大，氧通过水膜到达金属表面的阻力增加，腐蚀速度下降一些。

一般大气相对湿度在50—80%左右，金属表面可形成连续的水膜，是电化学腐蚀过程，腐蚀速度随湿度增加而增大。这一湿度称为临界速度。

## 8. 工业设备防腐蚀的重要性是什么？

我们知道国民经济各个部门中都存在着金属的腐蚀问题。如海水对船舶的腐蚀；大气对桥梁的锈蚀；石油、天然气对矿井的腐蚀；土壤对地下管道的腐蚀等等。在工业生产中，普通工业用水可使锅炉腐蚀，至于各种化学介质更可造成金属设备的腐蚀损坏。在石油、化工、冶金、轻化等工业生产中，设备常接触腐蚀性极强的酸、碱、盐和有机介质，如不采取防腐蚀措施，在短时间内就会因腐蚀而损坏设备。在工业生产中，化学反应多在密闭设备中进行，介质多为液态和气态，还需要一定温度和一定压力。在整个生产系统中，决不允许设备出现跑、冒、滴、漏等现象，这就要求设备材料必须是耐腐蚀的，否则，不仅影响正常生产，还易造成构筑物、建筑物腐蚀及环境污染。由此看来选择各种耐腐蚀材料和各种防腐蚀方法，防止各种介质对工业设备的腐蚀，是一项极重要的工作。

## 9. 常用的防腐蚀方法有那几种？

工业设备防腐蚀的方法主要有以下几种：

1. 电化学保护法。这是防止金属电化学腐蚀而采取的防护方法之一。有阴极保护、护屏保护和阳极保护等方法。

阴极保护，是在被保护金属表面，通以阴极直流电流，可消除或降低被保护金属表面的腐蚀电池作用。如20%氢氧化钠加热设备，用普通碳钢制作，选用阴极保护，就可防止碱腐蚀发生。

阳极保护，是在被保护金属表面，通以阳极直流电流，使其金属表面形成一层钝化膜，防止化学介质同金属反应。如生产碳酸氢铵的关键设备碳化塔，用阳极保护，可防止水箱腐蚀。这一经验曾在全国推广。

2. 添加缓蚀剂。在腐蚀介质中加入一种或几种物质（通常加入量极少，只占千分之几到百分之几），起防止介质对金属腐蚀的作用，但不改变介质的其它性能，这种物质称为缓蚀剂。例如盐酸中加入乌洛托品或三氧化二砷后，就不同铁反应了，可用来酸洗钢板，能除去锈层，且无氢气发生，这不仅节约了酸，还可防止钢板产生氢脆，提高了钢板酸洗的质量。目前缓蚀剂广泛用于大型合成氨装置、石油、天然气井的防腐蚀中。

3. 选择各种耐腐蚀合金和有色金属制作设备。不少化学反应温度高，介质腐蚀性极强，如生产固碱的降膜蒸发器，温度达400℃，碱液浓度由40%升至95%以上，需使用镍管；湿氯气冷却，可使用钛冷却器；浓硝酸贮存，须用铝罐；稀硝酸吸收塔，可选用不锈钢。

4. 使用各种金属镀层和衬里。钢设备表面用喷镀、电镀、化学镀、热浸镀等方法可得到各种有色金属与合金的镀层，防止介质腐蚀。如国外普遍用喷铝的方法，保护桥梁，防止大气腐蚀。钢设备表面用挂衬、搪焊等方法可得到较厚的有色金属衬里层（一般为3~5毫米），最常用的是衬铅层，可防止稀硫酸等介质腐蚀。

5. 选择各种非金属保护层。钢设备或混凝土设备表面衬橡胶、衬塑料、衬砖板和涂刷各种耐腐蚀涂料，将腐蚀介质与钢或混凝土表面隔离，起到保护作用。此外钢制反应釜、管道等还可用搪瓷、搪玻璃的方法防腐。

6. 选择各种非金属耐腐蚀材料制作设备。用非金属耐腐蚀材料可以制作反应设备和塔器、槽罐、管道、泵、阀等多种设备。常用的材料有各种工程塑料，增强塑料，电极石墨、化工陶瓷，玻璃，铸石和天然岩石等。例如用硬聚氯乙烯塑料，可制作直径5米、高12米的电除雾器，代替铅制设备，用于硫酸生产中。还可制成直径2.6米、高15米的稀硝酸吸收塔，代替不锈钢设备。常用的天然岩石有花岗岩、纹石等，可以砌筑酸贮罐、吸收塔等耐酸整体设备，还可加工制成耐酸泵叶轮。

7. 除去介质中有害成份，防止金属设备腐蚀，这是非常重要的一项防腐措施。例如酸性气体中，当水份含量大于0.02%时，氯气、二氧化硫、氯化氢等酸性气体，可使钢铁设备严重腐蚀；若用干燥法除去水份，则可防止腐蚀。在氯化苯生产中，当原料苯中的水份控制在0.02%以下时，在反应过程中，含有氯化氢的物料，就不会腐蚀钢制的精馏塔。又如工业锅炉中使用的水，要求除去钙、镁离子、氯根和溶解氧等有害成份，以防止腐蚀与结垢。

此外，使用有色金属设备时，也要防止有害成份腐蚀设备，如介质中含有微量的汞，就会降低铝设备的耐腐蚀性能，微量的氟化物，可造成钛设备的腐蚀等。

我们可根据设备接触腐蚀介质的特性和反应条件，来选择以上的防腐方法，首先应考虑采用各种非金属保护层和非金属结构设备，这种方法如不能解决时，再考虑使用有色金属与合金的方法。由此可见，推广使用非金属耐腐蚀材料具有重要的意义，不仅可以减少钢材因腐蚀造成的损失，同时可以节约有色金属和不锈钢。

## 10. 阴极保护的原理是什么？

阴极保护是电化学防腐蚀方法中的一种，可分为外加电流法和牺牲阳极保护法（也称牺牲阳极法）两类。

外加电流法是将金属被保护部位施加阴极电流（即连通直流电源的负极），使阴极电位向负的方向移动，当电位降至腐蚀电池的阳极起始电位时，电位差为零，腐蚀停止。阳极根据不同介质要选用石墨、碳钢或有色金属材料。电极分布要均匀，以使保护部位电流密度一致，阳极与直流电源的正极相连，在电解质溶液中形成回路，起到保护作用。碳钢、不锈钢等金属设备可以用阴极保护方法防止电解质溶液对设备的腐蚀。两性金属（如铝）不能用阴极保护，因氢离子放电过程使电解质溶液中氢氧离子浓度增高，反而会加速腐蚀。

阴极保护所施加的最小保护电流是通过试验测定的，不同电解质溶液在不同的腐蚀条件下，所需的保护电流相差很大，一般强酸介质需很大的保护电流（如1克当量浓度的盐酸每平方米需620安培电流），在浓度为40%的氢氧化钠介质中，温度100℃，每平方米碳钢设备需保护电流3~5安培，故有实用价值。国内对碱蒸发器、联碱外冷器等钢设备用阴极保护防腐，已取得良好的效果。

牺牲阳极保护，用于海水等腐蚀不强烈的电解质溶液中。用电位较负的金属来保护电位较正的金属，两者在电解质溶液中形成宏观电池，电位较负的金属不断遭受腐蚀，需定期更换，而被保护部位则完好。这种方法只适用于特殊的场所和设备部件的防腐蚀保护。

## 11. 什么叫阳极保护？

在被保护金属表面通以一定电位的正电，并外加阳极形成回路，在一定的电位下，金属表面发生钝化，生成对电解质溶液稳定的钝化膜，从而阻止了腐蚀过程的继续进行，起到保护作用。阳极保护的条件为金属能够钝化，电解质溶液中不含有能破坏钝化膜的活性离子（如Cl<sup>-</sup>氯离子）。通过极化曲线测定以确定保护电位。

实际使用时，外接直流电源要通过恒电位器，严格控制电位的波动，以保证设备表面电位在钝化区范围。否则当电位超过保护电位时钝化膜破坏，腐蚀加速进行；或外加电位过低，被保护金属不能形成钝化膜，起不到保护作用。

阳极保护的特点是外加电源消耗很小，对外加阳极材料要求不高，但开始操作时，至钝电流较大，从而需要功率较大的整流装置。被保护金属有碳钢、不锈钢、铝等能钝化的金属，如在115%发烟磷酸中，温度93℃，不锈钢在0.0013安培/米<sup>2</sup>电流及20~950毫伏电位下能够得到保护。

我国碳酸氢铵化肥生产中，碳化塔水箱用阳极保护可提高寿命五倍以上，曾在国内推广使用。



## 12. 什么是电化学腐蚀动力过程？在实际生产中有何意义？

我们把金属在电解质溶液中发生的腐蚀叫作电化学腐蚀。腐蚀过程是由于金属表面组织中形成微观电池，介质中活性离子放电作用产生金属溶解现象，即金属腐蚀。金属腐蚀电化学动力过程主要是研究腐蚀速度快慢同那些因素有关；在电化学腐蚀过程中腐蚀电流越大，腐蚀速度也大。如果计算出腐蚀电流，就可通过法拉第定律计算出金属的腐蚀量。

金属电化学腐蚀为原电池过程，电流与电阻关系应遵守欧姆定律，公式如下：

$$I = \frac{E}{R} \\ = \frac{V_{\text{阴}} - V_{\text{阳}}}{R} \quad (1)$$

式中  $I$ —腐蚀电流（安培）  $E$ —电动势  $E = V_{\text{阴}} - V_{\text{阳}}$   
 $R$ —电阻（欧姆）；  $V_{\text{阴}}$ —阴极电位（伏特）；  
 $V_{\text{阳}}$ —阳极电位（伏特）。

通过计算的电流  $I$ ，用法拉第公式计算金属腐蚀量，公式如下

$$W = \frac{QA}{Fn} = \frac{ItA}{Fn} \quad (2)$$

式中  $W$ —金属腐蚀量；  $I$ —电流强度；  
 $t$ —时间；  $A$ —金属的原子量；  
 $F$ —法拉第常数，96500库仑；  $n$ —金属的原子价；  
 $Q$ —在时间  $t$  秒内通过的总电量（库仑）。

计算出金属腐蚀量  $W$  就可算出金属的腐蚀速度。公式如下：

$$K = W/St \quad (3)$$

式中  $K$ —腐蚀速度（克/米<sup>2</sup>·小时）；  $W$ —金属腐蚀量（克）；  
 $S$ —被腐蚀的面积（米<sup>2</sup>）；  $t$ —腐蚀时间（小时）。

但我们实际测定的金属腐蚀速度往往比计算出的要小得多，用计算出的腐蚀电流代入（2）式中，得到的腐蚀速度可比实际大出几百倍，甚至无法计算。理论上金属表面形成的短路电池，电阻趋近于零，则腐蚀电流为无穷大，这是不符合实际情况的。实际腐蚀过程金属表面存在着极化过程，即阴极极化和阳极极化，所产生的腐蚀电流就减少很多，因而公式（1）必须修正如下。

$$I = \frac{V_{\text{阴}} - V_{\text{阳}}}{R + P_{\text{阴}} + P_{\text{阳}}} \quad (4)$$

式中  $I$ —腐蚀电流；  $V_{\text{阴}}$ —阴极电位；  
 $V_{\text{阳}}$ —阳极电位；  $P_{\text{阴}}$ —阴极极化度；  
 $P_{\text{阳}}$ —阳极极化度。

公式（4）有实用价值。可以正确计算金属的腐蚀速度，也可用来解释各种防腐蚀方法所起的作用。如用阳极保护时，由于金属表面钝化，电阻值为无穷大，腐蚀电流为